



R E P U B L I Q U E F R A N C A I S E

Rec'd PCT/PTO

03 DEC 2004

PCT/FR 03 / 02 157

10/516455

INPIINSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

REC'D 06 OCT 2003

WIPO

PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 23 JUIN 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

INPI
N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

CR 543 W 474 899

REMARQUE DES PIÈCES DATE LIEU N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI		Réserve à l'INPI	
11 JUIL 2002 75 INPI PARIS 0208720 11 JUIL 2002			
Vos références pour ce dossier (facultatif) 104363/LA/CVAC/TPM		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Bernard LAMOUREUX 30 avenue Kléber 75116 PARIS	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet <input checked="" type="checkbox"/>			
Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/>			
Demande divisionnaire <input type="checkbox"/>			
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GRAVURE DE SUBSTRAT PAR PLASMA INDUCTIF A TRES FORTE PUISSANCE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms		Société Anonyme	
Forme juridique		5.4.2.0.1.9.0.9.6	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse		54, rue La Boétie	
Rue		75008 PARIS	
Code postal et ville		FRANCE	
Pays		Française	
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

Résumé à l'INPI	
REMISE DES PIÈCES	
DATE 11 JUIL 2002	
LIEU 75 INPI PARIS	
N° D'ENREGISTREMENT 0208729	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	
CS 540 W / 2002	
Vos références pour ce dossier : (facultatif)	
104363/LA/CVAC/TPM	
6 MANDATAIRE	
Nom LAMOUREUX	
Prénom Bernard	
Cabinet ou Société Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel PG 9222	
Adresse Rue 30 Avenue Kléber	
Code postal et ville 75116 PARIS	
N° de téléphone (facultatif)	
N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)	
7 INVENTEUR (S)	
Les inventeurs sont les demandeurs <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance	
Paie ment en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES	
Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé « Suite », indiquez le nombre de pages jointes	
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)	
Bernard LAMOUREUX / LC 40 B	
VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
C. MARTIN	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GRAVURE DE SUBSTRAT
PAR PLASMA INDUCTIF A TRES FORTE PUISSANCE

La présente invention concerne les procédés et dispositifs pour la gravure de substrats, par exemple dans les réacteurs
5 utilisés pour la mise en œuvre de procédés de micro-usinage ou de gravure d'un substrat en silicium.

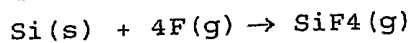
Lorsqu'on réalise une gravure d'un substrat de silicium dans un réacteur plasma, les séquences sont les suivantes :

- après avoir introduit et positionné le substrat sur un porte-
10 échantillon contenu dans une chambre de réaction, on introduit le ou les gaz de gravure tel qu'un gaz fluoré comme le SF_6 à un débit pré-établi ;
- par un groupe de pompage et un système d'asservissement de pression, on établit dans la chambre de réaction une pression
15 appropriée, et on maintient cette pression ;
- après que la pression se soit stabilisée, on excite le gaz dans la chambre de réaction par une onde électromagnétique d'excitation, pour générer un plasma ; simultanément, on polarise le substrat sur le porte-échantillon pour accélérer les ions qui viennent bombarder
20 la surface du substrat en cours de gravure.

Dans les applications de micro-usinage, on cherche à graver le silicium le plus vite possible. Parmi les paramètres accessibles pour contrôler la vitesse de gravure, les paramètres les plus influents sont :

- 25 - la pression partielle des atomes de gaz halogène comme le SF_6 ,
- la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation des gaz.

La puissance de l'onde électromagnétique d'excitation permet de ioniser et dissocier les molécules de gaz halogène tel que le SF_6 , pour générer des atomes de fluor. Ces atomes de fluor
30 arrivant sur la surface du substrat de silicium vont réagir avec celui-ci pour former une molécule gazeuse suivant la réaction :



La gravure consiste ainsi à prélever sur le substrat des atomes de silicium, qui sont transformés par la réaction en un gaz
35 SiF_4 que les moyens de pompage éliminent hors de la chambre de réaction.

On comprend donc que la vitesse de gravure du silicium est directement proportionnelle à la pression de fluor atomique, donc au taux de dissociation des molécules de gaz halogène tel que le SF_6 .

5 Parmi les différents types de source plasma, on connaît la source RIE (Reactive Ion Etching), ECR (Electron Cyclotron Resonance) et ICP (Inductively Coupled Plasma). Ce sont ces dernières sources ICP, ou sources de plasma par couplage inductif, qui présentent le plus fort taux de dissociation dans les régimes
10 de haute pression, permettant à la fois un fort taux de dissociation et une grande pression partielle d'atomes de gaz halogène tel que le SF_6 dans la chambre de réaction.

On est donc naturellement conduit à utiliser une source ICP pour augmenter la vitesse de gravure du silicium.

15 Les sources plasma de type ICP sont toutes constituées de deux éléments principaux :

- une paroi étanche en matériau diélectrique, qui ferme de façon étanche la chambre de réaction,
- une antenne réalisée dans un matériau conducteur de l'électricité tel que le cuivre, qui entoure ou surmonte la paroi étanche en
20 diélectrique ; cette antenne est reliée à l'une de ses extrémités à la masse électrique de l'équipement et à son autre extrémité à un générateur de puissance radiofréquence via un adaptateur automatique d'impédance.

25 La paroi étanche en matériau diélectrique se raccorde au reste de la paroi de la chambre de réaction, généralement en métal, par des joints d'étanchéité généralement réalisés dans des matériaux de type polymère. Ces matériaux ont des températures maximales d'utilisation n'excédant pas 150°C en utilisation
30 continue. Pour cela, on refroidit la zone de paroi de chambre de réaction proche des joints d'étanchéité.

Au cours d'un procédé de gravure d'un substrat tel que le silicium, la qualité de la gravure dépend du réglage à une valeur précise à chaque instant de tous les paramètres de gravure,
35 notamment de la pression de gaz de gravure, mais aussi de la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation transmise au gaz pour générer le plasma. L'enchaînement des séquences de gravure

s'effectue dans un intervalle de temps de l'ordre de quelques millisecondes.

Par conséquent, au niveau de la source de plasma, on se trouve dans une situation où l'on doit produire un couplage quasi instantané de la puissance radiofréquence nominale au plasma à travers la paroi étanche en matériau diélectrique.

Jusqu'à présent, on a pu transmettre des puissances d'onde électromagnétique d'excitation de l'ordre de 2 000 Watts, en utilisant des parois étanches de matériaux diélectriques qui résistent aux élévations de température. On a utilisé avec succès l'alumine Al_2O_3 .

Cependant, un tel matériau ne permet pas de dépasser une puissance maximale d'onde électromagnétique d'excitation de l'ordre de 3 000 Watts, à défaut de quoi on assiste à une destruction quasi instantanée de la source de plasma : la paroi étanche en matériau diélectrique se fissure, occasionnant la remise à pression atmosphérique du réacteur de gravure et pouvant produire l'implosion de l'ensemble.

Ainsi, à ce jour, il n'y a pas de solution permettant de coupler de très fortes puissances, de manière quasi instantanée, au travers d'un matériau diélectrique tel que l'alumine.

La présente invention a pour objet d'éviter les inconvénients des structures et procédés connus de gravure de substrat par plasma inductif, en autorisant le couplage de puissances radiofréquentes pouvant aller jusqu'à 5 000 Watts au travers d'un matériau diélectrique tel que l'alumine.

Simultanément, l'invention vise à conserver une bonne qualité de gravure, évitant l'utilisation d'étapes de gravure dans lesquelles les paramètres ne sont pas maintenus à leurs valeurs nominales précises.

L'idée qui est à la base de l'invention est de réduire le choc thermique du matériau diélectrique formant la source de plasma, en couplant de façon graduelle la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation. On va ainsi faire une rampe de montée en puissance, la pente de cette rampe étant suffisamment faible pour ne pas créer un choc thermique destructeur.

Mais comme les performances et la qualité de la gravure dépendent de la valeur des paramètres machine comme la puissance radiofréquence, il n'est pas envisageable d'amorcer le plasma de gravure et ensuite de faire une montée en puissance progressive alors que le substrat est positionné sur le porte-échantillon polarisé : on aurait en effet pendant toute la phase de montée en puissance des conditions de plasma éminemment variables et néfastes pour l'obtention des performances de gravure optimales.

Selon l'invention, on fait une montée en puissance progressive mais en présence d'un gaz neutre tel que l'azote ou l'argon, de telle sorte qu'il n'y ait pas de réaction entre ce gaz et l'échantillon de silicium.

Le gaz neutre a pour seul rôle de permettre de générer un plasma qui va, sous l'effet de la montée progressive en puissance, chauffer progressivement le matériau diélectrique et l'amener ainsi à sa température de travail correspondant à la puissance maximale utilisée pendant l'étape de gravure par plasma de gaz réactif.

Après cette étape de mise en température du matériau diélectrique par plasma de gaz neutre, on peut arrêter l'injection de ce gaz neutre et basculer instantanément en gaz réactif halogéné comme le SiF_4 pour effectuer la gravure proprement dite.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, l'invention prévoit un procédé de gravure d'un substrat par un plasma inductif, dans lequel on place le substrat dans une chambre de réaction, on établit dans la chambre de réaction une atmosphère d'un gaz approprié à pression de fonctionnement appropriée, on polarise le substrat, et on excite le gaz dans la chambre de réaction par une onde électromagnétique d'excitation à radiofréquence traversant une paroi étanche en matériau diélectrique pour générer un plasma ; selon l'invention, ce procédé comprend une étape préalable d'établissement progressif de puissance de l'onde électromagnétique d'excitation de plasma, au cours de laquelle on injecte dans la chambre de réaction un gaz neutre pour le substrat et on augmente progressivement la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation du plasma jusqu'à atteindre la puissance nominale appropriée, formant un plasma de gaz neutre qui chauffe progressivement la paroi étanche en matériau diélectrique, puis on

injecte le gaz actif dans la chambre de réaction pour remplacer le gaz neutre et entreprendre les étapes actives de gravure par le plasma de gaz actif.

De préférence, l'augmentation progressive de puissance d'excitation du plasma est programmée de façon à limiter en-deçà d'un seuil destructeur le choc thermique appliqué à la paroi étanche en matériau diélectrique par le plasma de gaz neutre.

Lorsque cela est possible, l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma est entreprise seulement en début de fonctionnement de la chambre de réaction après une période d'inactivité, et elle est suivie d'une alternance d'étapes actives de gravure au cours desquelles la température de la paroi étanche en matériau diélectrique reste dans une plage de valeurs suffisamment étroite pour éviter tout choc thermique destructeur de la paroi étanche en matériau diélectrique.

Les étapes actives de gravure peuvent comprendre une succession d'étapes de gravure par un gaz fluoré tel que le SF_6 et d'étapes de passivation par un gaz de passivation tel que CxFy .

L'invention prévoit également un dispositif pour la gravure de substrats par plasma inductif mettant en œuvre un procédé tel que défini ci-dessus, comprenant une chambre de réaction entourée d'une paroi étanche, la chambre de réaction contenant des moyens supports de substrat et étant en communication avec une source de plasma à couplage inductif à paroi étanche en matériau diélectrique et à antenne de couplage inductif alimentée par un générateur radiofréquence, la chambre de réaction étant raccordée par une ligne de vide à des moyens de pompage pour établir et maintenir un vide approprié dans la chambre de réaction, la chambre de réaction étant raccordée par une ligne d'entrée à une source de gaz de procédé ; selon l'invention :

- la source de gaz de procédé comprend une source de gaz neutre, au moins une source de gaz actif, et des moyens de distribution pilotés par des moyens de commande pour introduire le gaz approprié dans la chambre de réaction,
- le générateur radiofréquence comprend des moyens de réglage de puissance de radiofréquence pilotés par les moyens de commande,

- les moyens de commande comprennent un programme de commande avec une séquence préalable d'établissement de puissance, dans laquelle :

5 a) les moyens de commande pilotent les moyens de distribution pour introduire un gaz neutre dans la chambre de réaction,

b) les moyens de commande pilotent les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence de façon à produire une énergie radiofréquence qui croît progressivement
10 jusqu'à atteindre la puissance nominale,

c) puis les moyens de commande pilotent les moyens de distribution pour remplacer dans la chambre de réaction le gaz neutre par un gaz actif.

15 D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique illustrant la structure générale d'un dispositif de gravure selon un mode de réalisation de
20 la présente invention ; et
- la figure 2 illustre schématiquement les diagrammes temporels de fonctionnement des principaux organes du dispositif de la figure 1, le diagramme a) illustrant la variation de puissance d'excitation de plasma, le diagramme b) illustrant l'alimentation de la chambre
25 de réaction en gaz neutre, le diagramme c) illustrant l'alimentation de la chambre de plasma en gaz de gravure, le diagramme d) illustrant l'alimentation de la chambre de plasma en gaz de passivation, et le diagramme e) illustrant la courbe de polarisation du substrat à graver.

30 On se référera tout d'abord au dispositif illustré sur la figure 1. On distingue une chambre de réaction 1 entourée d'une paroi étanche 2. La chambre de réaction 1 contient des moyens supports de substrat 3, adaptés pour recevoir et maintenir un substrat 16 à graver. La chambre de réaction 1 est en communication
35 avec une source de plasma 4 à couplage inductif, constituée d'une paroi étanche 5 en un matériau diélectrique associée à une antenne

de couplage inductif 6 alimentée par un générateur radiofréquence 7 par l'intermédiaire d'un adaptateur d'impédance 7a.

La chambre de réaction 1 est raccordée par une ligne de vide 8 à des moyens de pompage 9 pour établir et maintenir un vide approprié dans la chambre de réaction 1. La chambre de réaction 1 est raccordée par une ligne d'entrée 10 à une source de gaz de procédé 11.

Dans le mode de réalisation illustré, la paroi étanche 2 de chambre de réaction comprend une portion périphérique 2a qui se raccorde à une portion frontale d'entrée 2b elle-même ouverte pour communiquer avec un tube d'entrée constituant la source de plasma 4.

Cette source de plasma 4, dans le mode de réalisation illustré, est constituée d'une paroi étanche 5 en matériau diélectrique, de forme tubulaire, et l'antenne de couplage inductif 6 est une spire coaxiale en matériau électriquement conducteur disposée autour de la paroi tubulaire, et raccordée d'une part à la masse 6a de l'appareil et d'autre part à la sortie de l'adaptateur d'impédance 7a.

L'antenne de couplage inductif 6 est disposée autour de la partie centrale de la paroi étanche tubulaire 5 en matériau diélectrique, elle-même constituée en alumine Al_2O_3 .

Pour le raccordement entre la paroi étanche tubulaire 5 en matériau diélectrique et la portion frontale d'entrée 2b de chambre de réaction 1, laquelle portion 2b est généralement réalisée en métal, on prévoit un joint d'étanchéité 2c. Par ailleurs, on prévoit des moyens de refroidissement 2d permettant de refroidir la portion frontale d'entrée 2b et le joint d'étanchéité 2c.

Le substrat 16, maintenu sur les moyens supports de substrat 3, est polarisé par un générateur de polarisation 15, de façon connue.

La source de gaz de procédé 11 comprend une source de gaz neutre 11a, et au moins une source de gaz actif. Par exemple, on prévoit une première source de gaz actif 11b contenant un gaz fluoré tel que le SF_6 , pour la gravure, et une seconde source de gaz actif 11c contenant un gaz de passivation tel que le $FeCl_3$.

Des moyens de distribution permettent de piloter
 l'introduction d'un gaz approprié dans la chambre de réaction 1.

Les moyens de distribution comprennent des électrovannes 12a, 12b et 12c raccordées chacune en série entre une sortie d'une source de gaz correspondante 11a, 11b et 11c et une entrée 14 dans la source de plasma 4.

Le générateur radiofréquence 7 comprend des moyens de réglage de puissance radiofréquence, pilotables par des moyens de commande 13. De même, les moyens de distribution 12a, 12b et 12c sont pilotables par des moyens de commande 13.

On prévoit des moyens de commande 13, par exemple un micro-contrôleur et des organes d'entrée/sortie, associés à un programme de commande, adaptés pour piloter les moyens de distribution à électrovannes 12a-12c et le générateur radiofréquence 7.

Les moyens de commande 13 comprennent un programme de commande 13a avec une séquence préalable d'établissement de puissance, dans laquelle :

a) les moyens de commande 13 pilotent les moyens de distribution, par ouverture de l'électrovanne de gaz neutre 12a, pour introduire un gaz neutre tel que l'azote ou l'argon dans la chambre de réaction 1,

b) les moyens de commande 13 pilotent les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence 7 de façon à produire une énergie radiofréquence qui croît progressivement jusqu'à atteindre la puissance nominale PN, de façon à produire un plasma 24 dans la source de plasma 4 pour échauffer progressivement la paroi étanche 5 en matériau diélectrique de la source de plasma,

c) puis, après échauffement suffisant, les moyens de commande 13 pilotent les moyens de distribution pour fermer l'électrovanne de gaz neutre 12a et ouvrir une électrovanne de gaz actif 12b ou 12c. En pratique, on ouvre séquentiellement l'électrovanne de gaz de gravure 12b ou l'électrovanne de gaz de passivation 12c pour introduire les gaz actifs dans la chambre de réaction 1, et les moyens de commande 13 pilotent simultanément les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence 7

de façon à produire le plasma 24 approprié pour les étapes de gravure et de passivation.

On se référera maintenant à la figure 2, qui illustre les étapes du procédé de gravure selon l'invention.

5 Après avoir placé le substrat 16 (figure 1) dans la chambre de réaction 1, on établit dans la chambre de réaction une atmosphère d'un gaz neutre tel que l'azote N_2 ou l'argon : à l'instant A, le diagramme b) indique la présence d'azote pendant une première étape allant jusqu'à l'instant B. Pendant cette étape, 10 les moyens de pompage 9 établissent et maintiennent une pression appropriée à l'intérieur de la chambre de réaction 1, pression choisie pour l'établissement correct d'un plasma 24. On évite pendant cette étape de polariser le substrat 16, comme cela est illustré dans le diagramme e) de la figure 2 : la tension de 15 polarisation V est absente pendant l'étape entre les instants A et B. Pendant cette même étape, on établit progressivement la puissance d'excitation de plasma, comme indiqué dans le diagramme a) de la figure 2, par exemple par une progression linéaire de puissance entre les instants A et B, jusqu'à atteindre la puissance 20 nominale PN à l'instant B.

On interrompt alors l'introduction de gaz neutre tel que l'azote ou l'argon, comme le représente le diagramme b) qui montre la fin de présence d'azote dès l'instant B.

A ce même instant B, on introduit dans la chambre de 25 réaction 1 un gaz de gravure halogéné tel que SF_6 , et l'on maintient sa présence pendant une étape BC de durée appropriée en fonction du processus de gravure désiré. Pendant cette étape, on polarise le substrat par une tension V comme illustré sur le diagramme e), en établissant éventuellement la tension de 30 polarisation avec un retard approprié par rapport à l'établissement de présence du gaz de gravure SF_6 . On remplace ensuite à l'instant C le gaz de gravure SF_6 par un gaz de passivation tel que C_4F_8 , le diagramme c) montrant la disparition du SF_6 , et le diagramme d) montrant l'apparition du C_4F_8 et son maintien, jusqu'à un instant D. 35 Au cours de cette étape CD, le gaz de passivation produit un dépôt de polymère sur les surfaces du substrat. On alterne ensuite des étapes de gravure et des étapes de passivation, comme illustré sur

les diagrammes, en polarisant chaque fois le substrat pour attirer le plasma 24, et en maintenant la puissance d'excitation du plasma à une valeur appropriée pouvant être proche de la valeur nominale PN.

5 Ainsi, l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma est entreprise seulement en début de fonctionnement de la chambre de réaction 1 après une période d'inactivité, et elle est suivie des étapes actives de gravure, par exemple d'une alternance d'étapes de gravure et d'étapes de
10 passivation, au cours desquelles la température de la paroi étanche 5 en matériau diélectrique reste dans une plage de valeurs suffisamment étroite pour éviter tout choc thermique destructeur de la paroi étanche 5 en matériau diélectrique.

 Au cours de l'étape préalable d'établissement progressif
15 de puissance d'excitation de plasma, entre les instants A et B, la pente de l'accroissement de puissance illustrée sur le diagramme a) est choisie suffisamment faible pour éviter tout risque de destruction de la paroi étanche 5 en matériau diélectrique par le plasma de gaz neutre.

20 Par l'utilisation d'un gaz neutre, tel que l'azote N_2 ou l'argon, on évite que le plasma 24 de gaz neutre agisse sur le substrat 16 à graver, de sorte que l'on conserve une bonne qualité de gravure. De préférence, pendant cette étape on évite également de polariser le substrat 16, pour éviter un bombardement de plasma
25 sur le substrat 16.

 Grâce à l'utilisation des moyens de l'invention, on peut, sans détruire la source de plasma 4 et sa paroi étanche 5 en matériau diélectrique, établir une puissance radiofréquence supérieure à 3 000 Watts, permettant de graver à vitesse
30 supérieure. Des essais satisfaisants ont été menés avec des puissances radiofréquences pouvant aller jusqu'à 5 000 Watts, au travers d'un matériau diélectrique tel que l'alumine.

 La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut
35 les diverses variantes et généralisations qui sont à la portée de l'homme du métier.

REVENDEICATIONS

1 - Procédé de gravure d'un substrat (16) par un plasma (24) inductif, dans lequel on place le substrat (16) dans une chambre de réaction (1), on établit dans la chambre de réaction (1) une atmosphère d'un gaz approprié à pression de fonctionnement appropriée, on polarise le substrat (16), et on excite le gaz dans la chambre de réaction (1) par une onde électromagnétique d'excitation à radiofréquence traversant une paroi étanche (5) en matériau diélectrique pour générer un plasma (24), procédé caractérisé en ce qu'il comprend une étape préalable d'établissement progressif de puissance de l'onde électromagnétique d'excitation de plasma, au cours de laquelle on injecte dans la chambre de réaction (1) un gaz neutre pour le substrat et on augmente progressivement la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation du plasma jusqu'à atteindre la puissance nominale appropriée, formant un plasma (24) de gaz neutre qui chauffe progressivement la paroi étanche (5) en matériau diélectrique, puis on injecte le gaz actif dans la chambre de réaction (1) pour remplacer le gaz neutre et entreprendre les étapes actives de gravure par le plasma (24) de gaz actif.

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'augmentation progressive de puissance d'excitation du plasma est programmée de façon à limiter en-deçà d'un seuil destructeur le choc thermique appliqué à la paroi étanche (5) en matériau diélectrique par le plasma (24) de gaz neutre.

3 - Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma est entreprise seulement en début de fonctionnement de la chambre de réaction (1) après une période d'inactivité, et elle est suivie d'une alternance d'étapes actives de gravure (BC ; CD) au cours desquelles la température de la paroi étanche (5) en matériau diélectrique reste dans une plage de valeurs suffisamment étroite pour éviter tout choc thermique destructeur de la paroi étanche (5) en matériau diélectrique.

4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les étapes actives de gravure comprennent une succession d'étapes de gravure (BC) par un gaz fluoré tel que

le SF_6 et d'étapes de passivation (CD) par un gaz de passivation tel que C_xF_y .

- 5 - Dispositif pour la gravure de substrats (16) par plasma inductif mettant en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant une chambre de réaction (1) entourée d'une paroi étanche (2), la chambre de réaction (1) contenant des moyens supports de substrat (3) et étant en communication avec une source de plasma (4) à couplage inductif à paroi étanche (5) en matériau diélectrique et à antenne de couplage inductif (6) alimentée par un générateur radiofréquence (7), la chambre de réaction (1) étant raccordée par une ligne de vide (8) à des moyens de pompage (9) pour établir et maintenir un vide approprié dans la chambre de réaction (1), la chambre de réaction (1) étant raccordée par une ligne d'entrée (10) à une source de gaz de procédé (11), caractérisé en ce que :
- la source de gaz de procédé (11) comprend une source de gaz neutre (11a), au moins une source de gaz actif (11b, 11c), et des moyens de distribution (12a, 12b, 12c) pilotés par des moyens de commande (13) pour introduire le gaz approprié dans la chambre de réaction (1),
 - le générateur radiofréquence (7) comprend des moyens de réglage de puissance de radiofréquence pilotés par les moyens de commande (13),
 - les moyens de commande (13) comprennent un programme de commande (13a) avec une séquence préalable d'établissement de puissance, dans laquelle :
 - a) les moyens de commande (13) pilotent les moyens de distribution (12a, 12b, 12c) pour introduire un gaz neutre dans la chambre de réaction (1),
 - b) les moyens de commande (13) pilotent les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence (7) de façon à produire une énergie radiofréquence qui croît progressivement jusqu'à atteindre la puissance nominale (PN),
 - c) puis les moyens de commande (13) pilotent les moyens de distribution (12a, 12b, 12c) pour remplacer dans la chambre de réaction (1) le gaz neutre par un gaz actif.

6 - Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens de distribution (12a, 12b, 12c) comprennent des électrovannes raccordées chacune en série entre une sortie d'une source de gaz correspondante (11a, 11b, 11c) et une entrée (14) dans la source de plasma (4).

7 - Dispositif selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il comprend une source de gaz neutre (11a) tel que l'azote (N_2) ou l'argon, une source de gaz de gravure (11b) tel que le SF_6 , et une source de gaz de passivation (11c) tel que le C_4F_8 .

8 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que la paroi étanche (5) en matériau diélectrique de la source de plasma (4) est en alumine Al_2O_3 .

9 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que la paroi étanche (5) en matériau diélectrique de la source de plasma (4) est de forme tubulaire, et l'antenne de couplage inductif (6) est une spire coaxiale disposée autour de la paroi tubulaire.

10 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisé en ce que la paroi étanche (2) de chambre de réaction (1) comprend une portion périphérique (2a) qui se raccorde à une portion frontale d'entrée (2b) elle-même ouverte pour communiquer avec un tube d'entrée constituant la source de plasma (4), la portion frontale d'entrée (2b) se raccordant à la paroi étanche (5) en matériau diélectrique par un joint d'étanchéité (2c), avec des moyens de refroidissement (2d) pour refroidir la portion frontale d'entrée (2b) et le joint d'étanchéité (2c).

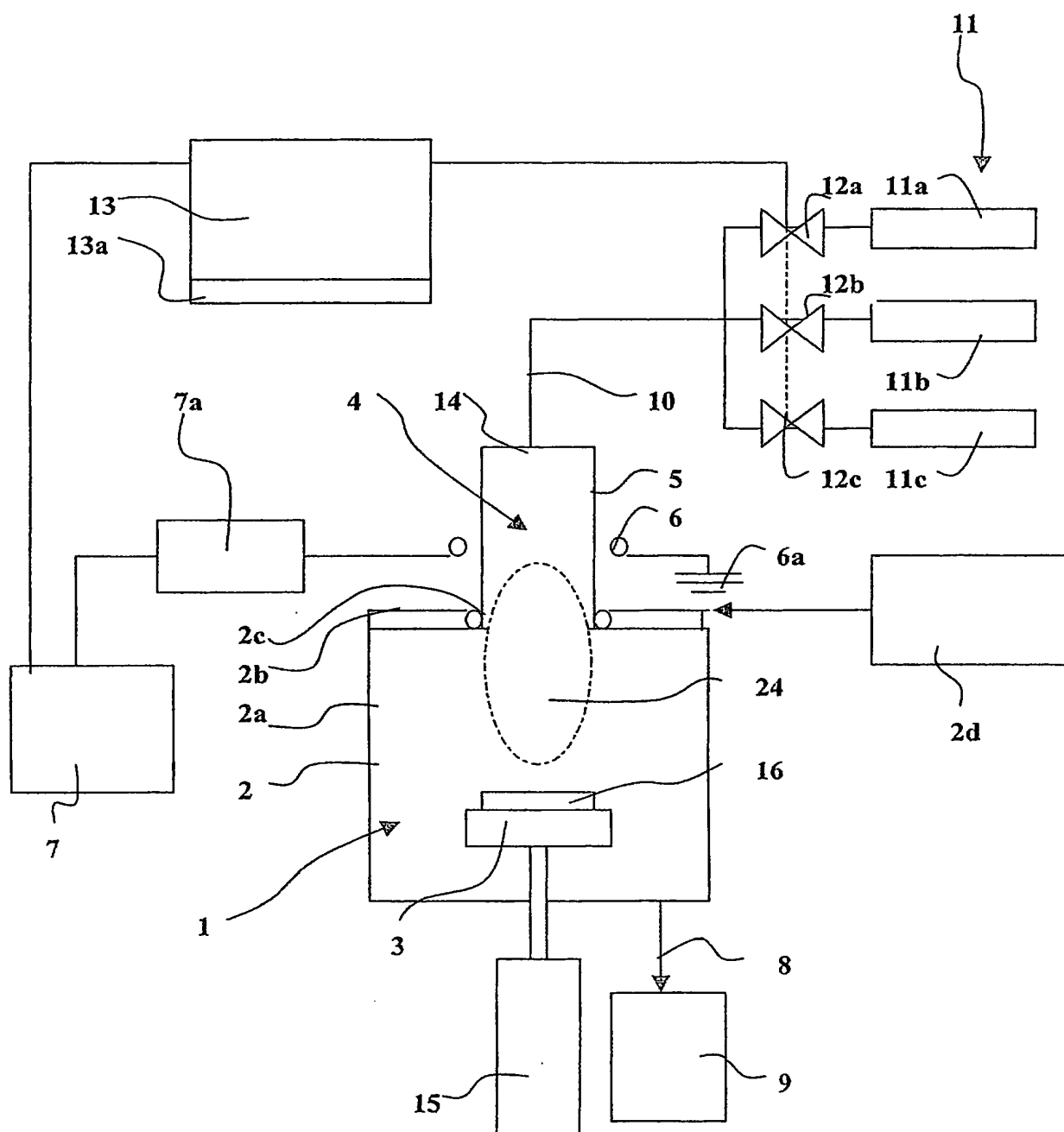


FIG. 1

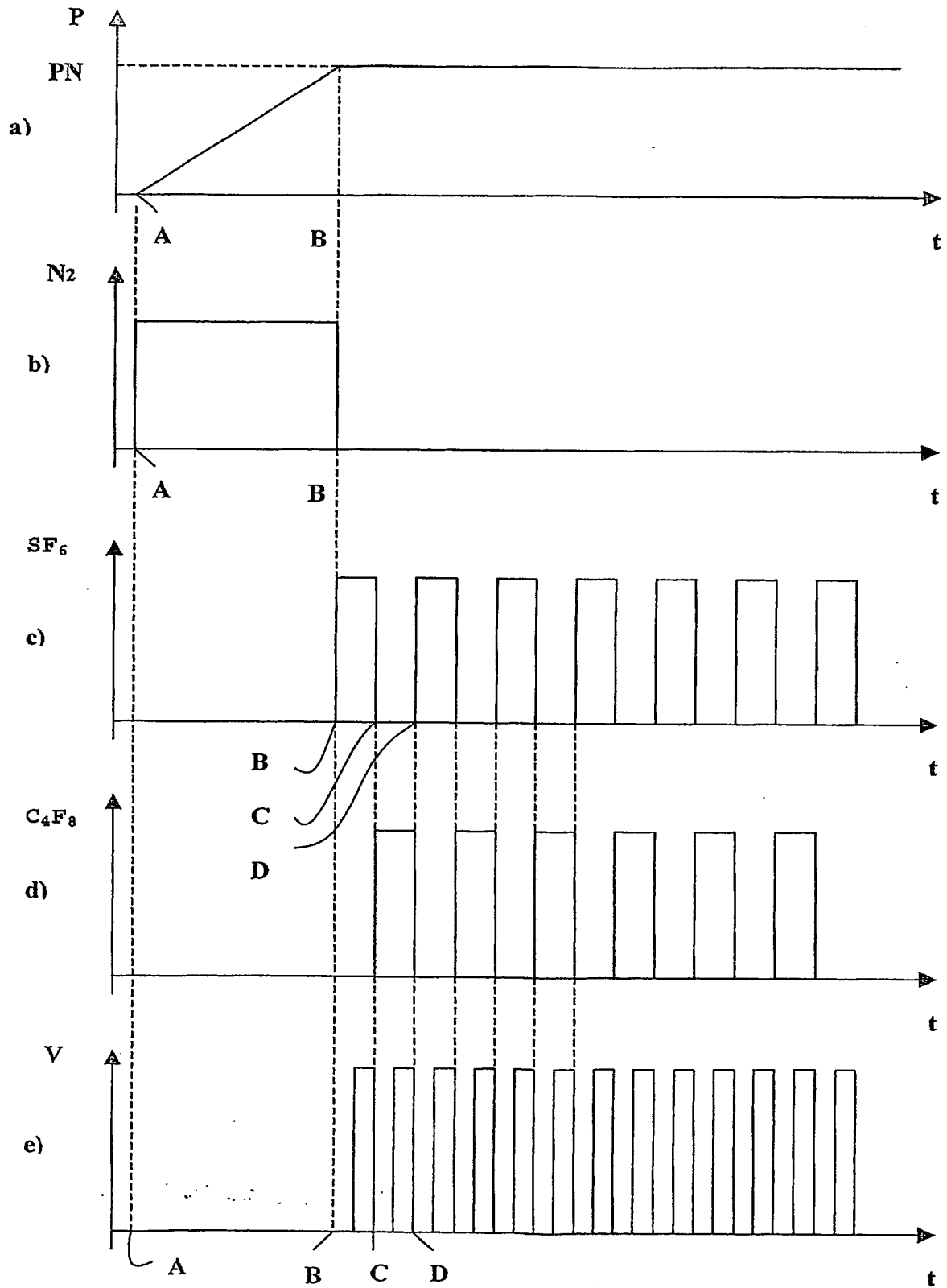


FIG. 2



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI


N° 11205 02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1./1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

CB 113 W 10789

Vos références pour ce dossier (facultatif)		104363/LA/CVAC/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0208729	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GRAVURE DE SUBSTRAT PAR PLASMA INDUCTIF A TRES FORTE PUISSANCE			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		PUECH	
Prénoms		Michel	
Adresse	Rue	9, CHEMIN DU BOIS BERNARD	
	Code postal et ville	74370 METZ-TESSY, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DE L'INVENTEUR(S) DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		9 juillet 2002 Bernard LAMOUREUX 	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.